

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **Fakulta strojní**

Studijní program B2341 - Strojírenství

Strojírenská technologie  
Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

**Výroba odlitků pro automobilový průmysl z grafitických litin**

**Iron castings for automotive industry production**

**Andrea Elmanová**

**KSP – SM – B35**

**Vedoucí bakalářské práce:** prof. Ing. Iva Nová, CSc. - TU v Liberci

**Rozsah práce a příloh:**

Počet stran: 54

Počet tabulek: 3

Počet obrázků: 22

Počet příloh: 0

27.5.2011

**ANOTACE**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra strojírenské technologie**  
**Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: B2341- Strojírenství

Student: Andrea Elmanová

Téma práce: Výroba odlitků pro automobilový průmysl z grafitických litin  
Iron castings for automotive industry production

Číslo BP: KSP - SM - B35

Vedoucí BP: prof. Ing. Iva NOVÁ, CSc.

**Abstrakt:**

Tato rešeršní práce je zaměřena na téma odlitky z grafitických litin pro automobilový průmysl. Klade za úkol shromáždit základní informace o grafitických litinách, je rozdělena do šesti kapitol. Druhá pojednává o charakteristice litin. Třetí kapitola se zabývá pískovými formami. Ve čtvrté kapitole jsou popsány možnosti odlévání litiny. Pátá kapitola je věnována konkrétním výrobkům používaným v automobilovém průmyslu. Závěrečná šestá kapitola obsahuje shrnutí použití litin.

**Klíčová slova:** litiny, grafitické litiny, pískové formy, odlitky

**Abstract:**

This bachelor thesis is focused on compacted graphite iron castings for the automotive industry. It puts the task to gather basic information on graphite cast iron. It is divided into six chapters. The second discuss the characteristics of cast iron. The third chapter deals with sand molds. The fourth chapter describes the options for casting iron. The fifth chapter is devoted to specific products used in the automotive industry. The final sixth chapter summarizes the use of cast iron.

**Key words:** Iron, Compacted Graphite Iron, Sand Mold, Castings

### **Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsala samostatně a výhradně s použitím uvedených pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Liberci, 27.5.2011

.....

Andrea Elmanová

Marie Majerové 1645

356 05 Sokolov

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce paní prof. Ing. Ivě Nové, CSc. za odborné vedení, obětavost, trpělivost a motivaci ke studiu. A v neposlední řadě všem, kteří mi byli nápomocni, a jsem vděčná za jejich trvalou podporu.

V Liberci, 27.5.2011

.....  
Andrea Elmanová

## OBSAH

SEZNAM ZKRATEK .....	7
1. ÚVOD .....	8
2. CHARAKTERISTIKA GRAFITICKÝCH LITIN .....	9
2.1 Přehled jednotlivých druhů grafitických litin.....	13
2.1.1 Litina s lupínkovým grafitem (EN-GJL).....	13
2.1.2 Litina s kuličkovým grafitem (EN-GJS).....	16
2.1.3 Litina s červíkovitým grafitem (EN-GJV) .....	19
2.1.4 Temperovaná litina .....	20
3. PÍSKOVÉ FORMY .....	23
3.1 Charakteristika pískových forem .....	23
3.2 Formovací a jádrové směsi .....	24
3.3 Složky pískových forem .....	25
3.3.1 Ostřívo.....	25
3.3.2 Pojivo .....	26
3.3.2.1 Pojiva jílová .....	27
3.3.2.2 Pojiva organická.....	28
3.3.3 Voda .....	33
3.3.4 Přísady.....	33
3.4 Příprava formovacích směsí .....	34
3.5 Regenerace formovacích a jádrových směsí .....	35
3.6 Výroba netrvalých forem a jader .....	37
3.6.1 Ruční formování.....	37
3.6.2 Strojní formování.....	39
4. METALURGIE A ODLÉVÁNÍ LITINY .....	41
4.1 Metalurgie grafitických litin .....	41
4.2 Odlévání grafitických litin .....	43
5. ODLITKY Z LITINY POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU .....	46
6. ZÁVĚR.....	53
7. POUŽITÁ LITERATURA .....	54

## SEZNAM ZKRATEK

A	-	tažnost	[%]
R <sub>m</sub>	-	pevnost v tahu	[MPa]
T	-	teplota termodynamická	[K]
C	-	hmotností obsah uhlíku v litině	[%]
Si	-	hmotnostní obsah křemíku v litině	[%]
P	-	hmotnostní obsah fosforu v litině	[%]
G	-	tíha formovací směsi rámu	[N]
V	-	objem směsi	[m <sup>3</sup> ]
ρ	-	hustota směsi	[kg.m <sup>-3</sup> ]
HB	-	tvrdost dle Brinella	[-]
Sc	-	stupeň eutektičnosti litiny	[-]
t	-	teplota Celsiova	[°C]
Re	-	mez kluzu	[MPa]
Se	-	uhlíkový ekvivalent	[%]

## 1. ÚVOD

Slévárenství je důležitým průmyslovým odvětvím, v současnosti se s jeho produkty, tj. s odlitky, setkáváme ve všech oblastech průmyslové výroby. Odlitky se používají jako součásti nejrůznějších zařízení, jako jsou zařízení pro energetiku, tj. součásti vodních, tepelných a jaderných elektráren. Dále zařízení strojírenská např. rámy kovoobráběcích, textilních strojů, zařízení metalurgických a chemických závodů. Odlitky nachází uplatnění i v potravinářském průmyslu. Současně odlitky tvoří komponenty a součástky automobilů, motocyklů, traktorů, lokomotiv, železničních vagónů, elektromotorů atd.

Výroba a využití kovů je závislá na jejich přípravě a následném zpracování. K výrobě odlitků se dnes používají různé kovy a jejich slitiny. Prvními průmyslově používanými materiály pro výrobu odlitků byly litiny. Jejich odlévání přispělo k rozvoji slévárenství, nejen v oblasti metalurgie, ale také formovacích a jadrových materiálů. Na počátku 20. století se začaly rozvíjet a uplatňovat technologie zpracování litiny s lupínkovým grafitem, od 50. let litiny s kuličkovým grafitem a na konci 70. let zpracování litiny s červíkovým grafitem.

V automobilovém průmyslu jsou dnes velmi vysoké požadavky na strukturu litin, která je důležitým nositelem mechanických, resp. užitných vlastností. To je ovlivněno trendem vytvářet výkonnější automobily s nižší hmotností, tím menší spotřebou pohonných hmot a s ohledem na životní prostředí.

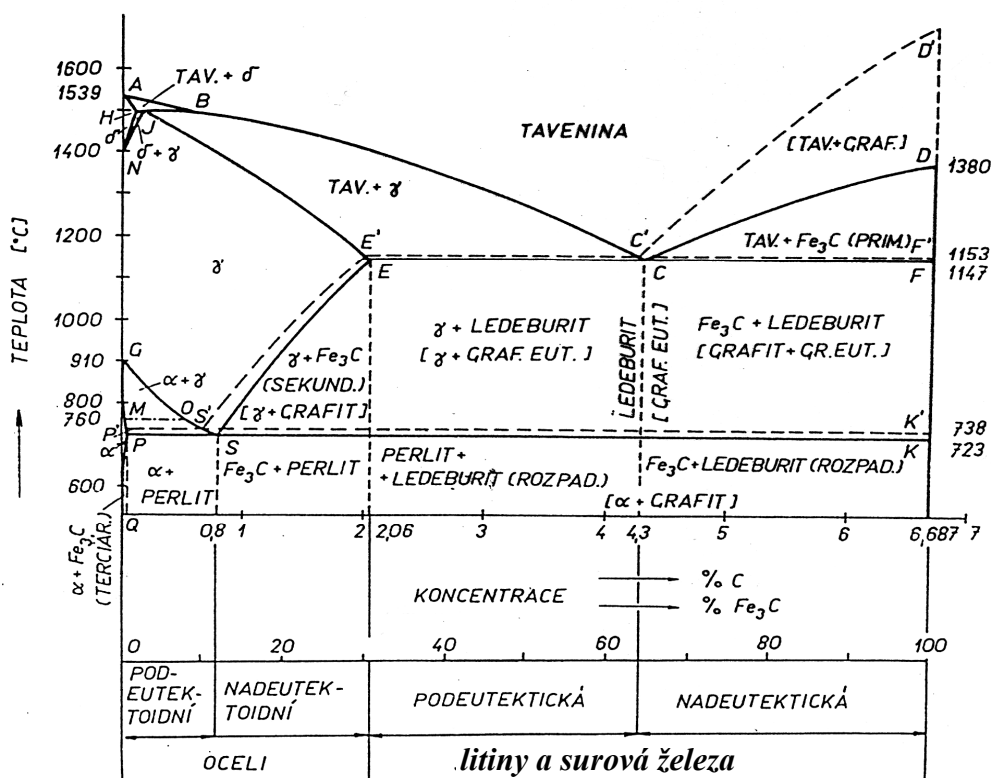
Slévárenská výroba a její metalurgická část je velmi rozsáhlý výrobní obor, který svou problematikou zasahuje do mnoha oborů vědy: chemie, fyzikální chemie, nauka o materiálu, fyzikální metalurgie, uplatňují se zde zákony termodynamiky atd.

Problematicou výroby různých druhů litin se v současné době věnují i pracovníci KSP – FS, TU v Liberci. Také na problematiku litin je zaměřena tato bakalářská práce, která je rešeršního charakteru a ukazuje hlavní směry použití litinových odlitků.

## 2. CHARAKTERISTIKA GRAFITICKÝCH LITIN

Litiny jsou slitiny železa, prvek uhlík je v nich vyloučen jako grafit nebo vázán jako karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Obsah uhlíku v litinách je vyšší, než odpovídá jeho maximální rozpustnosti v austenitu, obsah je tedy přibližně více než 2 % C. Vyrábějí se přetavováním surových želez a ocelového odpadu v kuplovných nebo elektrických pecích, ty mohou být indukční či obloukové.

Strukturu litiny ovlivňuje chemické složení taveniny, rychlost tuhnutí a chladnutí, zárodečný stav taveniny a v neposlední řadě i způsob tepelného zpracování. Tavenina litiny krystalizuje podle stabilního nebo metastabilního diagramu Fe-C, resp. Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$ , případně se v průběhu tuhnutí a chladnutí uplatňují oba systémy.



Obr. 2-1 Rovnovážný diagram Fe – C metastabilní [2]

Jak je obecně známo, litiny se dělí do dvou základních skupin na litiny bílé a litiny grafitické.



Struktura litin je vždy tvořena primární fází a eutektikem. Pokud litiny obsahují pouze eutektikum, jsou to litiny s eutektickým složením. Při tuhnutí podle stabilního diagramu Fe-C vzniká grafitické eutektikum, které tvoří austenit a grafit, tyto litiny nazýváme grafitické.

Do této skupiny patří:

1. *Litina s lupínkovým grafitem (LLG),*
2. *Litina s kuličkovým grafitem (LKG),*
3. *Litina s červíkovitým grafitem (LČG).*

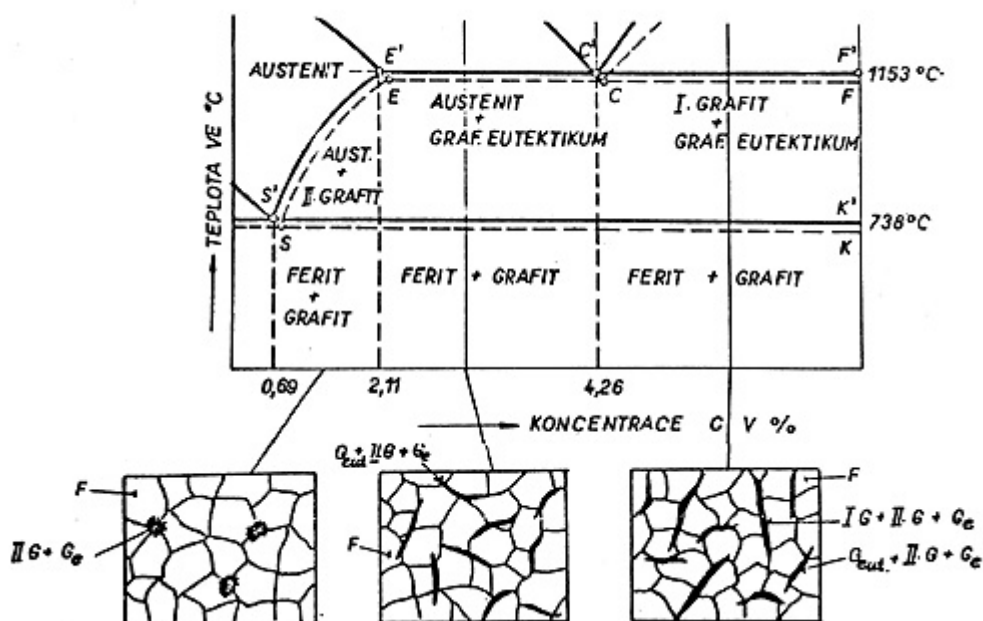
**Grafitické litiny** - patří k nejstarším, avšak nejvíce používaným konstrukčním materiálům. Oproti ocelím mají heterogennější strukturu. Dalšími přednostmi jsou menší hustota, lepší obrobitelnost a třecí vlastnosti, menší vrubová citlivost, větší tlumící schopnost.

Při namáhání na ohyb se posouvá neutrální osa profilu, z důvodu rozdílné pevnosti v tlaku a v tahu, ke směru působící síly.

Při tuhnutí podle metastabilního systému je eutektikem ledeburit. Ledeburit je tvořen austenitem a cementitem  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Ve struktuře není přítomen žádný volný grafit a takové litiny se nazývají bílé nebo karbidické. Karbidické litiny se vyznačují vysokou tvrdostí, křehkostí a jsou téměř neobrobitelné. Podle metastabilního systému vzniká rovněž tzv. zákalka. Jako zákalka se označuje výskyt bílé struktury - ledeburitu (karbidů) v místech s rychlým odvodem tepla - tenké stěny, rohy apod. v odlitcích z grafitických litin. Přejícný typ mezi grafitickými a bílými litinami tvoří tzv. maková litina, která obsahuje jak grafitické, tak metastabilní eutektikum. Výskyt zákalky a makové struktury v odlitcích se obvykle pokládá za nežádoucí.

Tepelným zpracováním bílé litiny se vyrábí temperovaná litina. Odlitky z temperované litiny tedy tuhnou jako bílé a grafit vzniká až rozpadem cementitu při žhání. Po temperování je tedy možné tyto litiny zařadit mezi grafitické.

Na obr. 2-2 je uvedena část rovnovážného diagramu s vyznačením příslušných struktur litin.



Obr. 2-2 Mikrostruktura šedých litin [10]

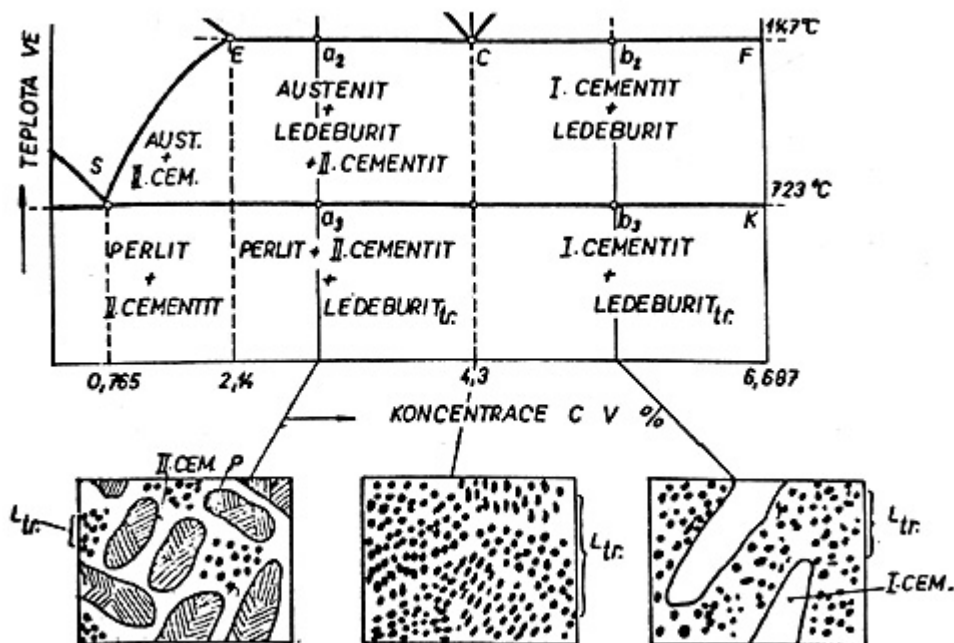
**Bílé litiny** - jejich struktura odpovídá metastabilní rovnováze soustavy Fe-C-Si a je tvořena volného cementitu a perlitu, ten vznikl eutektoidní přeměnou ledeburického a primárního austenitu. Tato struktura vzniká za vyšší přítomnosti karbidotvorných prvků (např. Mn, Cr, W, Mo, Ce, B, V) a menším obsahu grafitotvorných prvků (např. C, Si, Al, Ti, Ni, Zr) v litině nebo při zvýšené rychlosti tuhnutí ve formě.

Bílá litina se vyznačuje značnou křehkostí a tvrdostí, ta dosahuje hodnot 350-500 HB.

Používá se pro výrobu jednoduchých odlitků, které mají být odolné proti opotřebení např. lopatky pískometů či metacích tryskačů.

Velká část odlitků bílé litiny slouží jako produkt pro následné temperování, dříve se pro své vlastnosti používali pro automobilový průmysl. V dnešní době je nahrazují odlitky z litiny s kuličkovým grafitem.

Na obr. 2-3 je část metastabilního diagramu Fe-C s vyznačením strukturních součástí, které se vyskytují v litině bílé.



Obr. 2-3 Mikrostruktura bílých litin [10]

Dříve se odlitky z bílé litiny dále tepelně zpracovávaly, tzv. temperančně žíhaly, cca na teplotu 950 až 1050 °C (dle příslušného procesu temperování). To je způsob, jak získat jiný typ grafitu v litině (tzv. temperovaný grafit) a tyto litiny vykazovaly poměrně dobré mechanické vlastnosti, vyšší než odlitky z litiny s lupínkovým grafitem po odlití do pískových forem. V současné době se temperování litin používá velmi málo. K tomu přispěly nejen vysoké energetické náklady na temperování, ale také lepší možnosti k výrobě kvalitních druhů litin (např. litiny s kuličkovým grafitem).

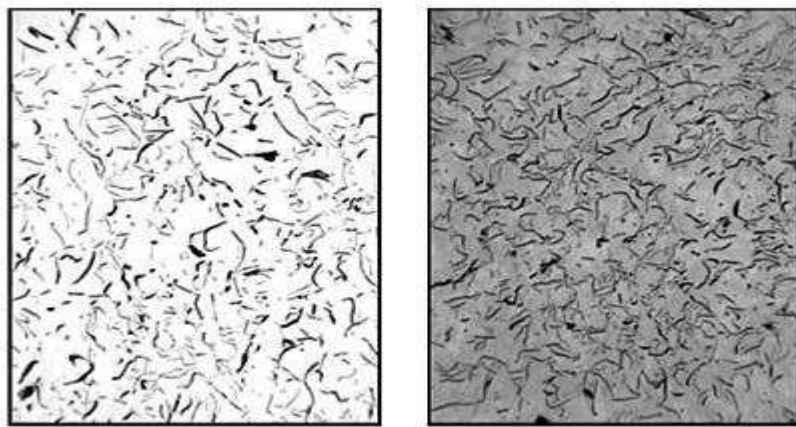
## 2.1 Přehled jednotlivých druhů grafitických litin

Strukturu těchto litin tvoří základní kovová hmota (matrice), v níž je obsažený grafit. Krystalizace probíhá za stabilní rovnováhy Fe-C.

Základním kritériem pro určení druhu litin je tvar vyloučeného grafitu. Názvy jednotlivých druhů litin vychází z názvů v ČR obvyklých, značky a číselné označování vychází z evropské normy ČSN EN 1560. Podle tvaru grafitu se litiny dále dělí.

### 2.1.1 Litina s lupínkovým grafitem (EN-GJL)

Obsahuje grafit ve tvaru prostorových útvarů, podobných zelné hlávce, které na metalografickém výbrusu mají tvar lupínků. Délka lupínků je podstatně větší, než jejich tloušťka, konec lupínků je ostrý.

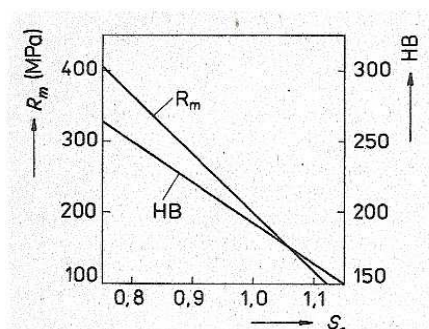


Obr. 2-4 Litina s lupínkovým grafitem [10]

Jedná se o poměrně levný materiál s přijatelnými technologickými vlastnostmi (např. slévateľností). Mechanické vlastnosti této litiny se vyznačují velmi nízkou plasticitou a houževnatostí a to v souvislosti s lupínkovým grafitem v matrici.

Pro účely z hlediska konstrukce se používá podeutektoidní litina se složením: 2,8-3,6 %C, 1,4-2,8 %Si, 0,5 -1,1 %Mn, 0,2-0,6 %P a 0,15 % S. Nejdůležitější přísada je křemík. Vyšší obsah Si vyžadují tenkostěnné odlitky, který kompenzuje grafitizační účinek Mn a S. Křemík snižuje koncentraci uhlíku v eutektiku, takže původní podeutektická litina bude se vzrůstajícím množstvím tuhnout jako eutektická popř. nadeutektická. Pro posouzení účinku Si a dalších prvků na obsah uhlíku, slouží uhlíkový ekvivalent  $C_e$  nebo stupeň eutektičnosti  $S_c$ .

Na obr. 2-5 je uvedena souvislost mezi pevností v tahu a stupněm eutektičnosti, dále souvislost mezi tvrdostí a stupněm eutektičnosti. Obecně platí, že kvalitnější litiny vykazují nižší hodnotu  $S_c$ . Jak je také z obr. 2-5 patrné, s rostoucí hodnotou stupně eutektičnosti klesá, jak pevnost v tahu litiny, tak její tvrdost.



Obr. 2-5 Závislost pevnosti v tahu a tvrdosti šedé litiny na stupni  $S_c$  [4]

Ke zjištění, zda je litina podeutektická ( $C_e < 4,3; S_c < 1$ ), eutektická ( $C_e = 4,3; S_c = 1$ ) nebo nadeutektická ( $C_e > 4,3; S_c > 1$ ), slouží např. následující vztahy: pro uhlíkový ekvivalent  $C_e$ :

$$C_e = \%C + 0,312\%Si + 0,275\%P \quad (2.1)$$

a pro stupeň eutektičnosti  $S_c$ :

$$S_c = \frac{\%C}{4,3 - 0,312\%Si - 0,275\%P} \quad (2.2)$$

kde značí: C – hmotnostní obsah uhlíku v litině;

Si – hmotnostní obsah křemíku v litině,

P - hmotnostní obsah fosforu v litině.

Litiny s lupínkovým grafitem jsou křehkým materiálem s velmi nízkou tažností ( $A < 1\%$ ). Pevnost v tlaku je 3-4 krát větší oproti pevnosti v tahu, hodnoty jsou v rozmezí 100-350 MPa. U tvrdosti se pohybují v rozsahu 180-270 HB. Modul pružnosti je ovlivňován množstvím grafitu a kolísá v rozmezí 80 000-150 000 MPa. Pokud se jedná o oblast pružné deformace, není závislost deformace na napětí lineární, hodnota E klesá se zvětšujícím se napětím.

Nejčastěji se používají v automobilovém a strojařském průmyslu. Jsou vhodné na převodové skříně, stojany lisů, soustruhy, frézky, motorové vložky, ozubená kola, bloky motorů, hlavy válců, písty a válce kompresorů, řemenice.

V tabulce 2-1 je uveden přehled použití jednotlivých typů litin s lupínkovým grafitem.

Tab. 2-1 Doporučené použití jednotlivých typů litin s lupínkovým grafitem [10]

Značka EN ČSN	Charakteristika	Použití
<b>GJL-150</b> (JL-1020) 42 2415	nelegovaná, pro obecné použití	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 30 mm, např. smaltované výrobky, vodovodní tvarovky, součásti textilních a polnohospodářských strojů, na části motorů jako víka, poklopy, ložisková tělesa, řemenice. Pro teploty od -60 do 500°C.
<b>GJL-200</b> (JL-1030) 42 2420	nelegovaná, pro obecné použití, pro vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 8 do 45 mm, např. na odlitky strojů, armatur, částí pístových motorů, turbín, na válce kompresorů apod.. Pro teploty od -60 do 500°C.
<b>GJL-250</b> (JL-1040) 42 2425	nelegovaná, pro vyšší tlaky a namáhání, pro vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 15 do 70 mm, např. na válce motorů, součásti turbín, podřadnější ozubená kola, stojany obráběcích strojů, skříně převodů. Pro teploty od -60 do 500°C.
<b>GJL-300</b> (JL-1050) 42 2430	nelegovaná, pro vyšší tlaky a namáhání, pro vyšší teploty	Je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 25 až do 100 mm. Používá se pro velmi namáhané odlitky strojních součástí, na stojany těžkých obráběcích strojů, na speciální odlitky, součásti armatur. Pro teploty od -60 do 500°C.
<b>GJL-350</b> (JL-1060) 42 2435	nelegovaná, pro vyšší tlaky a namáhání, pro vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 40 do 150 mm i více, např. na těžké, vysoce namáhané odlitky jednoduchých tvarů s mírnými přechody průřezů, na stojany velmi těžkých strojů, tělesa čerpadel. Pro teploty od -60 do 500°C.

### 2.1.2 Litina s kuličkovým grafitem (EN-GJS)

Litina s kuličkovým grafitem, jak je patrné již z názvu, obsahuje grafit ve formě kuliček. Jak je obecně známo, grafit ve formě kuliček vykazuje nejmenší vrubové účinky v kovové matici ze všech známých typů tvarů grafitu, proto z hlediska vlastností litiny je ideálním tvarem. Často se však vyskytuje grafit "nedokonale zrnitý".

Oproti litině s lupínkovým grafitem má většinou eutektické popř. nadeutektické složení: 3,2-4,2 %C, 1,5-4,0 %Si, 0,4-0,8 %Mn, méně než 0,1 %P, 0,02 %S, 0,05-0,1 %Mg.



Proti litině s lupínkovým grafitem má vyšší obsah uhlíku a křemíku, který zlepšuje slévárenské vlastnosti a má větší vliv na pevnost matrice. Mechanické vlastnosti jsou výrazně lepší, zejména plasticita a houževnatost.



Obr. 2-6 Litina s kuličkovým grafitem [10]

Předností této litiny je vyšší hodnota modulu pružnosti 160 000-180 000 MPa. Ve srovnání s ocelí si stále zachovává přednosti grafitických litin, např. větší schopnost útlumu, menší vrubovou citlivost, lepší slévatelnost, třecí vlastnosti.

V současné době litina s kuličkovým grafitem nahrazuje ocelové odlitky, jelikož má lepší slévatelnost a srovnatelné mechanické vlastnosti. Tato litina se využívá na výrobu namáhaných strojních součástí, klikové hřídele, ojnice, součásti čerpadel. Litina s kuličkovým grafitem tvoří přechod mezi litinami a oceli a to z hlediska mechanického, tak i technologického. Mechanické vlastnosti lze zlepšit speciálními technologiemi tepelného zpracování, např. izotermickým kalením na bainitickou strukturu.

V tabulce 2-2 je uveden přehled použití jednotlivých typů litin s kuličkovým grafitem.



Tab. 2-2 Doporučené použití [10]

Značka EN ČSN	Charakteristika	Použití	A min [%]	R <sub>m</sub> min. [MPa]	HB max.
GJS350-22 (JS-1010) 42 2303	feritická, pro vyšší tlaky a namáhání, pro nízké teploty, pro vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 100 mm i více, např. na součástky cestovních vozidel a polnohospodářských strojů, na součástky armatur a jiné dynamicky namáhané odlitky	17	370	184
GJS400-15 (JS-1030) 42 2304	feritická, pro všeobecné použití, pro vyšší tlaky a namáhání, pro vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 100 mm i více, např. na součástky cestovních vozidel a polnohospodářských strojů, převodové a ložiskové skříně, na tělesa armatur a jiné dynamicky namáhané odlitky.	12	400	204
GJS600-3 (JS-1060) 42 2306	perliticko-feritická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 100 mm a to na součástky namáhané mechanicky a otěrem, např. na klikové a vačkové hřídele, písty, pístní kroužky, na ozubená kola apod. Pro teploty do -100°C.	3	600	270
GJS700-2 (JS-1070) 42 2307	perlitická, pro vyšší namáhání, otěruvzdorná	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 až do 75 mm. Používá se na součástky více namáhané a odolné vůči otěru. Je vhodná na ozubená kola, klikové a vačkové hřídele, kola čerpadel a rozváděcí kola, brzdové bubny apod.	2	700	300
GJS800-2 (JS-1080) 42 2308	perliticko- sorbitická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 35 mm, např. na součástky mechanicky i dynamicky namáhané, konkrétně na ozubená kola, klikové a vačkové hřídele, kola čerpadel a rozváděcí kola, brzdové bubny apod.	2	800	348

### 2.1.3 Litina s červíkovitým grafitem (EN-GJV)

Vermikulární grafit má podobný tvar jako grafit lupínkový. Ve srovnání s LLG jsou však útvary grafitu kratší, tlustší a jejich konec bývá zaoblený. Vermikulární litina obvykle obsahuje též určité množství lupínkového nebo kuličkového grafitu, aby bylo zřejmé, o jakou litinu se jedná, bylo zavedeno pravidlo, že pokud je v litině více jak 50% vermikulárního grafitu, jedná se o LČG.

Červíkový grafit lze dosáhnout modifikací taveniny:

*-nedokonalou modifikací Mg, Ce*

*-kombinací prvku globulizačního a antiglobulizačního Mg, Ti*

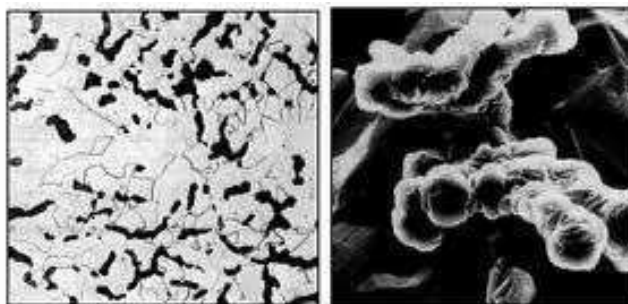
*-modifikací směsným kovem*

Chemické složení litiny bývá 3,5-3,8 %C, 2,4-2,7 %Si, 0,6 % Mn, max.

0,02-0,06 %P, max. 0,02 %S.

Pevnost v tahu se u této litiny pohybuje v rozmezí 320-550 MPa, ta je ovšem závislá na charakteru matrice, velikosti a rozložení grafitu. Tažnost je v rozsahu 0,5-4,5 % a modul pružnosti dosahuje hodnot 140 000-180 000 MPa.

Využívá se především pro dynamicky namáhané součásti. Hlavní aplikací litiny s vermikulárním grafitem jsou odlitky pro automobilový průmysl (hlavy válců, výfuky, ventilová pouzdra, pístové kroužky, bloky válců). Odolává i tepelnému namáhání, takže je možné ji najít, jako výfukové potrubí u automobilů Škoda-Favorit.



Obr. 2-7 Litina s červíkovým grafitem [9]

### 2.1.4 Temperovaná litina

Jak již bylo výše uvedeno, tento druh grafitické litiny se nezískává po odlití, ale až následným žíháním litiny bílé. Je to do jisté míry speciální druh grafitických litin. Obsahuje grafit ve tvaru vloček (temperovaný grafit). Tento typ grafitu vzniká rozpadem ledeburitického cementitu, v důsledku tepelného zpracování dlouhodobého žíhání bílé litiny. Podle způsobu žíhání lze získat tři typy temperované litiny.

Dělíme ji na : a) *litinu s černým lomem*

b) *litinu s bílým lomem*

c) *litinu perlitickou*

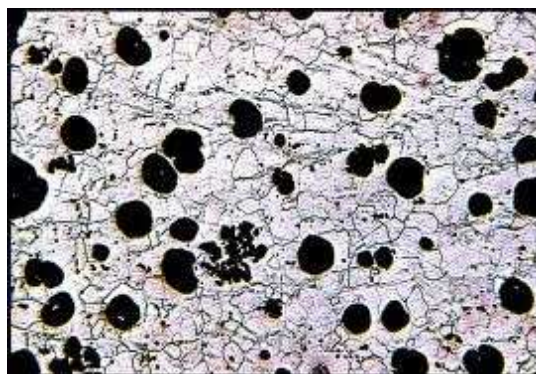
Grafit vyloučený ve tvaru kompaktních vloček má o něco větší vrubový účinek než pravidelné kuličky, typické pro litinu s kuličkovým grafitem.

Proto srovnatelný typ matrice vykazuje temperovaná litina nižší mechanické vlastnosti než odpovídající litina s kuličkovým grafitem. Modul pružnosti (E), této litiny, je v rozsahu 140 000-170 000 MPa. Tato litina se velmi používala pro výrobu drobnějších namáhaných dílů automobilů (např. drobné odlitky automobilu ŠKODA MB 1000, který byl vyráběn v 60. letech minulého století).

Tvar a rozložení grafitu, i charakter základní kovové hmoty litiny mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti litin. Samotný grafit má velmi malou pevnost.

Tím, že grafit zmenšuje nosný průřez základní kovové hmoty, snižuje pevnost litiny. Současně na koncích útvarů grafitu dochází ke koncentraci napětí - grafit působí vrubovým účinkem. Čím má grafit zakončení tvaru klínu, tím větší vrubový účinek vykazuje v kovové matici.

Z tohoto hlediska je nejméně výhodný lupínkový grafit, naopak nejprůzračnější je grafit kuličkový. Proto má LKG podstatně vyšší mechanické vlastnosti, než LLG. Litina s červíkovitým grafitem a litina temperovaná svými vlastnostmi leží mezi těmito krajními body. Na obr. 2-8 je struktura litiny s kuličkovým grafitem s feritickou maticí.

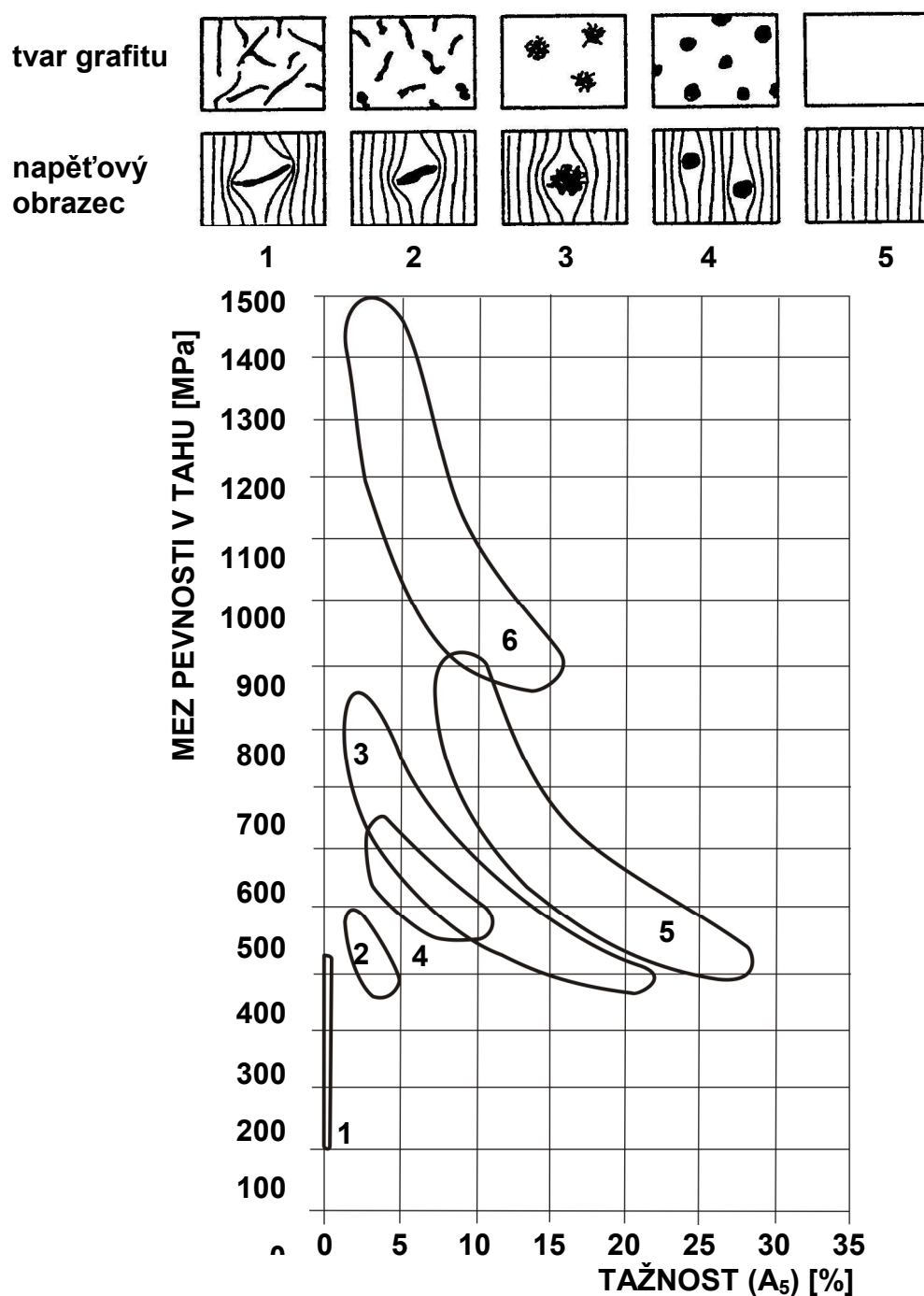


Obr. 2-8 Struktura temperované litiny [10]

Tab. 2-3 Doporučené použití litiny s kuličkovým grafitem [10]

Značka EN ČSN	Charakteristika	Použití	$R_e$ $R_{p0,2}$	A [%]	Rm [MPa]
42 2532	Temperovaná litina s černým lomem pro všeobecné účely. Struktura feritická s částečným výskytem perlitu.	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 3 do 30 mm, např. na odlitky pro textilní, polnohospodářské stroje, obráběcí stroje, zdviháky apod.	170	8	320
42 2533	Temperovaná litina s černým lomem pro všeobecné účely. Struktura feritická s částečným výskytem perlitu	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 3 do 30 mm, např. na odlitky pro vozové nápravy, kompresory, klíče do zámků apod.	200	10	350
<b>GJMW-350</b> (JM-1010) 42 2536	Temperovaná litina s bílým lomem pro všeobecné použití. Struktura perlitická.	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 3 do 30 mm, např. na odlitky na vozové nápravy, tkalcovské stavy, západky, kompresory.		4	350
<b>GJMW-400-5</b> (JM-1030) 42 540	Temperovaná litina s bílým lomem pro všeobecné použití. Struktura perlitická s výskytem feritu.	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 3 do 30 mm, např. na odlitky pro automobilovou výrobu a pro staticky namáhané.	220	5	400
<b>GJMW-450-6</b> (JM-1140) 42 2545	Temperovaná litina s bílým lomem pro vyšší tlaky. Struktura zrnitý až lamelární perlit.	Vhodná na odlitky s tloušťkou stěn od 3 do 30 mm, např. odlitky na konzoly, motory, páky převodovek, součásti polnohospodářských strojů.	270	6	450

Na obr. 2-9 je pro ilustraci uvedeno schéma mechanických vlastností, resp. pevnosti v tahu a tažnosti, jednotlivých druhů litin, včetně oceli na odlitky.



1 - LLG, 2 - LČG, 3 - LKG, 4 - TLP, 5 - ocel na odlitky, 6 - ADI (izotermicky kalená LKG)

Obr. 2-9 Oblasti mechanických vlastností litin [2]

### 3. PÍSKOVÉ FORMY

#### 3.1 Charakteristika pískových forem

Pískové formy jsou vytvořeny z formovací směsi a slouží pro jedno odlití, tím spadají do kategorie netrvalých forem. Jedním odlitím lze ve formě zhotovit více odlitků. Po ztuhnutí taveniny odlévaného kovu se odlitek vytluče a forma se zničí. Do těchto forem se nejčastěji odlévá litina, popř. některé slitiny hliníku či mědi. Pískové formy špatně akumulují teplo, nejsou dobrými vodiči a odlitky v nich tuhnou, poměrně dlouhý časový úsek.

Pro výrobu pískových forem se používají tzv. formovací směsi, které se skládají z těchto složek: *ostřiva pojiva, přísad a vody*.

Použití pískové formovací směsi ovlivňuje finální kvalitu výrobku, a proto je na ní kladen celý soubor požadavků. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří:

**Formovatelnost** - jedná se o schopnost směsi vytvářet dutinu formy, tzn. co nejpřesněji kopírovat tvar modelu.

**Žáruvzdornost** - odolnost proti destrukci při vyšších teplotách, po nalití taveniny do formy.

**Objemová stálost** - odolnost proti působení teplotních změn, což ovlivňuje přesnost odlitků, ale i možnost poškození formy.

**Mechanické vlastnosti** - spadají sem manipulační pevnosti formy, mechanická odolnost proti namáhání při lití, otěruvzdornost a odolnost proti erozi, to jak za normálních teplot, tak i při zvýšených teplotách.

**Prodyšnost** - schopnost odvádět plyny a páry z formy bezprostředně po odlití.

**Rozpadavost** - přímo ovlivňuje snadné uvolňování (vytloukání) odlitků a obtížnost čištění od zbytků formovacích směsí.

**Životnost** - doba, po kterou si formovací směs udrží požadované vlastnosti.

**Vaznost** - charakterizuje soudržnost formovací směsi, ta je dána schopností přimknutí základních složek.

Tyto vlastnosti jsou přímo úměrně závislé na zvoleném ostřivu, pojivu, přísadách, popř. i na obsažené vodě. Formy z pískových těchto směsí se vyrábí strojním formováním pomocí modelové desky, která je upevněna na formovacím stroji. Pro větší zhuštění směsi v rámu formy se používá kombinace střešení s dolisováním na formovacích strojích.

### 3.2 Formovací a jádrové směsi

Formovacími materiály je označován soubor hmot, sloužících k výrobě netrvalých a polotrvalých forem, případně i látky zlepšující technologické vlastnosti formovacích materiálů, které souhrnně nazýváme látky pomocné. Vlastní formovací hmota, ze které se vyrábí forma, je směsí několika základních komponentů a nazývá se formovací směsí.

Podle způsobu použití při výrobě formy dělíme formovací směsi následujícím způsobem:

**a) Modelové směsi** - vytvářejí líc formy, který přichází do styku s taveninou.

**b) Výplňové směsi** - tvoří zbylou část formy a jsou na ně z hlediska vlastností kladeny nižší požadavky než na směsi modelové, nejčastěji se získává recyklací z použitých slévárenských jader.

**c) Jednotné směsi** - tvoří celou formu, jak líc, tak i výplň zbývajících objemu a používají se při výrobě forem s vysokým stupněm mechanizace, nejčastěji jednotné bentonitové směsi.



**d) Jádrové směsi** - slouží pro výrobu jader, zde jsou kladeny nejvyšší jakostní požadavky, bývá velice teplotně namáhaná a je třeba, aby odolávala pronikání taveniny mezi póry jádra.

Každá formovací směs má dvě základní složky – ostřivo a pojivo. Z hlediska granulometrie jsou ostřivem všechny podíly se zrna většími než 0,02 mm, pojivem pak všechny podíly menší než 0,02 mm. Podíl ostřiva ve formovací směsi bývá 75 až 98% a jeho vlastnosti jsou dány chemickým a mineralogickým složením, tvarem a rozložením částic. Pojivo vytváří vazbu mezi jednotlivými zrny ostřiva a to buď bezprostředně po smíchání pojiva s ostřivem nebo až po chemickém či fyzikálním zásahu zvenčí.

### 3.3 Složky pískových forem

#### 3.3.1 Ostřivo

Jedná se o zrnitý, žárovzdorný materiál tvořící až 98% hmotnosti formovací směsi. Velikost zrn ostřiva je větší než 0,02 mm. Je to nejdůležitější složka formovacích a jádrových směsí, tvoří skelet, tzn. nosnou část. Mezi nejdůležitější vlastnosti ostřiva, patří tvar a povrch zrn, zrnitost, tedy granulometrická skladba ve směsi a chemická podstata.

#### Základní druhy ostřiva

**a) Kyselá - křemen** (oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$ ) - kyselý charakter, žárovzdornost kolem  $1700^\circ\text{C}$ , mimo oceli je vhodný pro odlévání všech slévárenských slitin, nelze ho používat pro výrobu odlitků, které vytvářejí oxidy zásadité povahy např. Haetfieldova ocel (manganová austenitická ocel). Je to nejpoužívanější ostřivo, které se vyskytuje v různých lokalitách naší republiky.

**b) Zásaditá - magnezit** (oxid hořečnatý  $\text{MgO}$ ) - zásaditý charakter, žárovzdornost kolem  $2000^\circ\text{C}$ . Odlévání ocelových odlitků, zvláště z manganových ocelí. Jeho nevýhodou je malá odolnost proti náhlým změnám teploty.



**c) Neutrální** - šamot ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) - neutrální charakter, žárovzdornost kolem  $2050^\circ\text{C}$ . Odlévání těžkých ocelových nebo litinových odlitků.

### Ostřiva speciální

Jsou to většinou ostřiva neutrálního charakteru, používaná v případech, kdy vlastnosti běžných ostřiv nevyhovují. Je to např. korund (čistý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), zirkon ( $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ ), mullit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), forsterit ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) nebo olivín ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ).

Značného zvýšení tepelné vodivosti formy se dosahuje použitím kovových ostřiv, která mohou být jednak ve směsi s křemenným pískem, jednak samotná pro formování v magnetickém poli.

Volba druhu ostřiva závisí na chemické povaze odlévaného kovu, druhu odlévané slitiny, lící teplotě, tvarové složitosti odlitku a tloušťce stěn odlitku, druhu pojiva a ekonomické dostupnosti směsi a jejích technologických vlastnostech.

### 3.3.2 Pojivo

Pojivo je část formovací směsi, která zajišťuje soudržnost výsledné formovací směsi. Pojiva dělíme podle jejich původu na organická a anorganická. Mezi anorganická pojiva patří především jíly, vodní sklo, cement, případně sádra. Mezi organická pak umělé pryskyřice, oleje, sacharidy, organické sloučeniny křemíku a další.

### 3.3.2.1 Pojiva jílová

Jde o tři základní druhy jílu:

**a) Kaolinitové** ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) - hlavní součástí hornin je kaolin, jedná se o pojivo se šamotovým lupkem a je určeno pro výrobu forem a jader k odlévání ocelových odlitků. Má největší žáruvzdornost ze všech jílu, ale nejmenší bobtnavost. Je to směs na sušení a to probíhá při teplotě  $650^\circ\text{C}$ .

**b) Illitové** - vyskytuje se v přírodních pískách. Nejdůležitějším minerálem této skupiny je glaukonit, vyznačuje se zelenou barvou. Jíl se používá pro odlévání těžkých litinových odlitků, jelikož má dobrou žáruvzdornost i dobrou bobtnavost.

**c) Montmorillonitové** - ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) - pokud jílové pojivo obsahuje více jak 75 až 80% montmorillonitu, pak se tyto jíly nazývají *bentonity*. Bentonity řadíme k nejpoužívanějším pojivům. Oproti kaolinitům mají 2,5 krát vyšší pojivovou schopnost a umožňují přípravu směsi s minimálním obsahem vody, zhruba pod 5%. Jsou používány jako směsi na syrovo a uplatňují se při strojním formování na automatizovaných linkách.

Obsah bentonitu ve formovacích směsích se pohybuje 7-9%. Přírodní bentonit obsahuje množství iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  s menší schopností vázat vodu. Dále metodou natrifikace je možné část těchto iontů vyměnit za ionty  $\text{Na}^+$ . Takto upravené bentonity mají zvýšenou odolnost proti tvorbě zálpů.

#### Vlastnosti bentonitu

Bentonit vznikl zvětráváním sopečných hornin jako čediče, diabasů a hlavně jejich popela, tento proces probíhal především v zásaditém prostředí. Charakteristická je pro něj zejména barva, bývá žlutý, šedý i červený a na omak mastný. Má dobrou plastičnost, fixotropní vlastnosti

a rozhodují schopnost vázat na svůj povrch vodu. Krystalky mají ve vysušeném stavu strukturu balíčku karet, pokud přidáme vodu, molekuly se oddálí a nastane nabobtnání. Vysoká vaznost jílu ve formovacích směsích umožňuje jejich obsah snížit až na třetinu, oproti jiným druhům. Malý obsah jílu znamená i nízký obsah vody, čím nám umožňuje odlévání na syrovo - do nevysušených forem.



Obr. 3-1 Aktivovaný bentonit [10]

Na obr. 3-1 je patrný rozdíl mezi aktivovaným bentonitem a neaktivovaným vápenným bentonitem. Aby ve směsi bylo dostatek pojiva, je možné provádět natrifikaci jílu. Do bentonitu se přidávají sodné ionty, které umožňují pevnější vazbu s molekulami vody a jednotlivé krystalky pak vytvářejí nesedimentující tekutou suspenzi.

### 3.3.2.2 Pojiva organická

V současné době se však stále více prosazují organická pojiva na bázi umělých pryskyřic, přírodní oleje a sacharidy. Tato pojiva nacházejí uplatnění především v oblasti výroby jadrových směsí a umožňují progresivní metody výroby jader. Mezi kladné vlastnosti těchto směsí patří vysoká pevnost po vytvrzení v ohybu, dobrá rozpadavost, nízká teplota termodestrukce, mohou se déle skladovat, mají velmi dobrou tekutost, a proto se mohou do jaderníku foukat nebo vstřelovat. Nevýhodou pryskyřičných pojiv je vysoká plynotvornost. Starší druhy organických pojiv bývají dnes nahrazovány umělými pryskyřicemi.

**a) Olejová pojiva** - jedná se o látky nerozpustné ve vodě. Využíváme jen ty, které tuhnou oxidací za vzniku pryskyřitých látek. Jsou určeny primárně pro výrobu jader, směs obsahuje 2-4 % olejového pojiva. Získávají se z mastných kyselin, ty mají benzenové jádro s několika dvojnými vazbami. Vytvrzovací proces ostřiva s pojivem probíhá za teplot 230-250°C.

**b) Sacharidy** - jsou ve vodě rozpustné, proto při mísení může být směs vlhká. Mají tu vlastnost, že zvyšují vaznost písků za syrova. Nevýhodou je absorbování vzdušné vlhkosti. Využívají se pro výrobu jader a po vysušení mají dobrou pevnost.

Rozlišujeme je na monosacharidy a polysacharidy. Monosacharidy jsou bezbarvé krystalické látky s vysokou rozpustností ve vodě a při vyšších teplotách mění barvu na hnědou za vzniku karamelu. Dnes ve slévárenství používáme odpadní produkty, jako je melasa, dextronér, glukoprén, sulfitový výluh a škrob. Polysacharidy se při hydrolýze minerálními kyselinami rozpadají na monosacharidy. Některé vytvářejí ve vodě koloidní roztoky, tzv. škroby. Škrob se používá jako přísada do bentonitových směsí ve formě dextrinu, kvůli zlepšení spěchovatelnosti, plastičnosti a houževnatosti formovací směsi.

**c) Pryskyřice** - jsou po vytvrzení ve vodě nerozpustné a nenavlhavé. Během vytvrzování pryskyřice dochází k obalení zrna ostřiva a vzniká kompaktní tepelně nevratná hmota. Jako slévárenská pojiva jsou nejvýhodnější pryskyřice vyráběné polykondenzací fenolické, močovinoformaldehydové, furanové, kombinované. Při polykondenzaci, tj. rozvětňování strukturních řetězců, vznikají makromolekuly postupně jako mezi produkty, při reakci narůstá molekulová hmotnost jednotlivých makromolekul na úkor molekul malých.

Dle způsobu vytvrzování dělíme pryskyřice na, vytvrditelné teplem nebo tuhnoucí účinkem působení katalyzátoru. Všechna pojiva na bázi umělých pryskyřic mají toxické účinky na lidský organismus, je to vývin volného fenolu, formaldehydu nebo furanu během přípravy a vytvrzování, který působí na centrální nervovou soustavu nebo jsou příčinou akutních

kožních zánětů. Další vývoj a používání pryskyřičných pojiv je dnes motivováno přísnými zdravotními předpisy a jejich vlivem na pracovní a životní prostředí.

### Fenolické pryskyřice

Pryskyřice nazýváme jako fenoplasty, výroba probíhá polykondenzací fenolů nebo krezolů s formaldehydem. Dle použití je dělíme na fenolformaldehydové nebo krezolové roztoky a práškové formaldehydové tmely (novolaky). Základ pryskyřic tvoří fenol  $C_6H_5OH$ .

a) *fenol+formaldehyd* → polykondenzace probíhá v kyselém prostředí → fenolová pryskyřice typu novolak+ teplo a hexametylentetramín (katalyzátor) → směsný polykondenzát ve stavu reziť, jedná se o výrobu skořepinových forem dle Croninga, tzv. metoda C. Další používanou směsí pro tuto metodu je novolaková FF- pryskyřice slouží k výrobě obalených směsí, kdy se na zrna ostřiva nanese film pojiva cestou za tepla, zhruba při teplotě  $150^{\circ}C$  se mísí ostřivo s pryskyřicí bez přítomnosti katalyzátoru. Tyto směsi jsou základní pro metodu C, kterou se vyrábějí skořepinové formy a jádra. Sypká obalená směs je dobře foukatelná i do tvarově složitého jaderníku a vytvrzuje se teplem sálajícím z kovového jaderníku, teplota se pohybuje v rozmezí  $240-280^{\circ}C$ , přidáním katalyzátoru dojde k vytvrzení směsi za vzniku bakelitu.

b) *fenol+formaldehyd* → polykondenzace v zásaditém prostředí → fenolová pryskyřice typu rezol+ teplo a kyselina, vzniká polykondenzát ve stavu reziťu, tuto metodu nazýváme metodou horkých jaderníků, tzv. metoda HB.

*Metoda HB-* pojivem jsou pryskyřice na bázi rezolu, ten po rozmíchání s křemenným ostřivem a katalyzátorem, vytváří vaznou směs. Takto vytvořená směs se vstřeluje do horkého jaderníku, kde se celý objem vytvrdí. Teplota procesu bývá  $370^{\circ}C$ .

*Metoda WB-* způsob je téměř totožný, pouze teplota se pohybuje cca  $270^{\circ}C$ .

c) *fenol+formaldehyd* → polykondenzace v zásaditém prostředí → fenolová pryskyřice typu rezol+kyselina → polykondenzát ve stavu rezitu, metoda se označuje jako metoda CB, tzv. metoda studených jaderníků. Jako pojiva používáme rezolové pryskyřice. Proces vytvrzování probíhá bez působení tepla. Směs připravujeme smícháním ostřiva a dvousložkového pojiva, následně se, takto připravená směs, vstřelí nebo foukne do jaderníku, aby došlo k vytvrzení, profoukneme směs katalyzátorem, v tomto případě je to silně kyselé prostředí.

### Furanové pryskyřice

Pojmenování je odvozeno od pěti člankového heterocyklického uhlovodíku  $C_4H_4O$ . Pro přípravu furanových pryskyřic využíváme jednoduchého derivátu furanu, tzv. fural (nejpříznivější je aldehyd kyseliny pyrosilizové - furfural  $C_5H_4O$ , ten je obsažen v dehtu ze dřeva jehličnatých stromů, slámy a kukuřičných palic).

Ve slévárenství používáme tři druhy furanových pryskyřic:

- a) *furaminoaldehydové - na bázi furalkoholu, formaldehydu a močoviny*
- b) *furanketonaldehydové - na bázi acetonu a formaldehydu*
- c) *furanové*

Furanové pryskyřice klasifikujeme dle obsahu dusíku, ten se pohybuje v rozmezí 0-11% a vody, zde bývá množství 0-30%. Platí zde, že čím je vyšší koncentrace furalkoholu v pojivu, tím jsou technologické vlastnosti samotvrdnoucích směsí lepší. U samotvrdnoucích furanových směsí probíhá polykondenzace za působení kyselých katalyzátorů, tzn. 20-60% na hmotnost pryskyřice. Vytvrzování doprovází exotermická reakce a vzniká voda, ta se musí odpařit, proto postup vytvrzování probíhá od povrchu směrem dovnitř jader. Dalším průvodním jevem je změna barvy, původní bílá barva směsi se mění na tmavozelenou až černou. Rychlost procesu vytvrzování je přímo úměrný na teplotě, zvyšuje se s rostoucí teplotou.

### Močovinoformaldehydové pryskyřice

Vznik probíhá polykondenzací molekuly močoviny v poměru k cca 2 molekulám formaldehydu a to za přítomnosti mírně kyselého prostředí. Tyto pryskyřice jsou obvykle ve formě vodního roztoku. Na vlastnosti uplatňuje rozhodující vliv pH soustavy a doba reakce. Reakce probíhá ve třech stádiích, podobně jako u fenolformaldehydových pryskyřic:

- a) *První stádium* - hydrofilní produkty, které po samovolném odchodu vody a částečně pod vlivem  $H^+$  iontů, přejdou do dalšího stádia.
- b) *Druhé stádium* - pryskyřice želatinuje, špatně se rozpouští ve vodě a má vysokou viskozitu.
- c) *Třetí stádium* - to vzniká vlivem působení tepla a kyselých látek. Výsledkem jsou tvrdé, nevratné a netavitelné sloučeniny. Pryskyřice mohou být modifikovány, ale to má svá omezení. Po odlití, při termodestrukci, se uvolňuje nepříjemný dráždivý zápach. Termodestrukce probíhá při velmi nízkých teplotách, doprovází ho uvolňování dusík, ten může v odlitku způsobit vznik vad (bodlin), na odlitcích z litiny s kuličkovým grafitem.

Tyto směsi se vyznačují dobrou rozpadavostí. Velkým nedostatkem je uvolňování fenolformaldehydu, řešením může být přechod na metodu Cold-Box.

### Kombinovaná pryskyřičná pojiva

Využíváme je z důvodu možnosti snížení vytvrzovacích teplot, ty se následně pohybují okolo 150-180°C. Určitým druhem mohou být i furanové pryskyřice, mají minimální dobu vytvrzování, ale patří mezi nejvíce finančně nákladná pryskyřičná pojiva.

### 3.3.3 Voda

Ve formovací směsi působí jako plastifikátor, dodává formovací směsí vlastnosti nutné k udržení tvaru po formování. Obsah vody se převážně pohybuje okolo 3-4 % hmotnosti. Podstatná je po formy syrové, tedy nevysušené. Nejvíce jí využíváme u směsí na bázi jílových pojiv. Dle obsahu volné vody, tj. vodu, kterou lze odstranit sušením do 100°C, lze dělit směsi :

- a) **Bezvodé** - obsahují do 0,1% vody. Směsi nejsou na bázi jílových pojiv, ale jako plastifikátory se zde vyskytují organické sloučeniny, např. alkoholy.
- b) **Polosuché** - obsahují do 3% vody. Pro tyto směsi nevyžadujeme velké plastifikační vlastnosti, jelikož jsou určeny pro strojní formování.
- c) **Směsi na syrovo** - obsahují do 5% vody. Tyto směsi nevyžadují sušení a zajišťují nejprogresivnější výrobu forem.
- d) **Směsi na přisušení** - obsahují od 6-7% vody. Používají se, kde se suší pouze líc forem. Po vysušení je třeba ihned odlít, aby nedošlo k opětovnému navlhnutí.
- e) **Směsi na sušení** - obsahují více než 7% vody. Vodu odstraňujeme z celého objemu při sušení do 100°C.

### 3.3.4 Přísady

Jedná se o látky, přidané do formovacích směsí, ke zlepšení vlastností slévárenských forem.



Dle oblasti působení je dělíme:

**a) *Příspěvky zlepšující povrch odlitku*** - na jakost povrchu má nejvíce vliv zrnitost ostřiva, přísad má pouze doplňující účinek. Používají se látky jako kamenouhelná moučka (3-5%), mazut.

**b) *Příspěvky upravující technologické vlastnosti směsí*** - mezi nejdůležitější řadíme organické polymery, které zlepšují formovatelnost, např. rašelina, oxid železitý, dřevěná moučka, piliny aj.

**c) *Látky k povrchové ochraně forem*** - jsou hlavními složkami nátěrů forem a jader. Do této kategorie řadíme slévarenskou tuhu (grafit), křemennou moučku, zirkonovou moučku a korundovou moučku.

**d) *Dělicí látky*** - snižují adhezi pojiva k modelu, popř. k jaderníku nebo části forem navzájem. Do této skupiny spadá mletý vápenec, silikonový olej, petrolej, nafta, atd.

### 3.4 Příprava formovacích směsí

Přípravou formovacích směsí rozumíme promísení pojiva, ostřiva a případně dalších látek. Mísením směsi je třeba zajistit rovnoměrné rozdělení všech komponentů v celém objemu formovací směsi.

Při procesu je třeba dodat pojivu určité množství vody, aby mezi jednotlivými zrny písku po spěchování vznikly mosty pojiva.

Podmínkou získání kvalitní homogenní struktury směsi jsou:

- a) *rovnoměrné rozdělení pojiva a ostatních přísad v celém objemu formovací směsi;*
- b) *rovnoměrné rozdělení pojiva a ostatních přísad na povrchu každého zrna písku;*
- c) *důkladné zapracování vody do pojiva.*

Úprava formovacích směsí se provádí ve dvou krocích:

- 1) *mísení k dosažení homogenizace směsi;*
- 2) *hnětení, klouzání a roztírání, z důvodu vytvoření filmu pojiva na zrnech písku.*

Při procesu hnětení jsou částičky jednotlivých složek stlačovány do mezery mezi běhouny, dnem nebo stěnou mísiče. Mezi materiálem a pracovní plochou běhounu dochází k prokluzování, které způsobuje přesouvání a otáčení zrn. Klouzání umožňuje rozdílný průběh obvodových rychlostí na běhounu. Roztírání probíhá v tenké vrstvě a je vyvoláno pohybem mísících částí ke stěně nebo dnu mísiče. Zrno se posouvá a zároveň otáčí, tím se jeho povrch obaluje pojivem.

### 3.5 Regenerace formovacích a jádrových směsí

Pod pojmem regenerace rozumíme zpětné získávání podstatné části ostřiva z již použitých formovacích či jádrových směsí. Znovu oživit lze jen ostřivo nikoliv pojivo. V současné době zvyšujících se nároků na životní prostředí a ekonomii, tato oblast získává na důležitosti.

Po uvolnění a vyjmutí odlitku z netrvalé formy je z hlediska hospodárnosti nezbytné upotřebenou formovací směs (vratný písek) využít i v dalším procesu formování. Před opakovaným použitím je však nutné vratné písky upravit, případně regenerovat.

Úprava vratných písků zahrnuje:

- a) *drcení spečených hrudek upotřebené směsi;*
- b) *odlučování magnetického odpadu;*
- c) *prosévání;*
- d) *chlazení.*

Upravené vratné písky lze použít pro přípravu výplňových, případně jednotných směsí. Nelze však jimi nahradit nové ostřivo při přípravě modelových směsí. Toto je možné až po regeneraci.

## Regenerace vratných písků

Účelem regenerace je odstranit ze zrn písku (ostřiva) nežádoucí obálky, které se vytvoří v průběhu lití a tuhnutí odlitku ve formě. Jedná se např. o zbytky organických pojiv ve formě zkoksovaných povlaků nebo o vrstvičky křemičitanů, vznikajících v důsledku tepelného a chemického namáhání formy. Tyto obálky mají vesměs nízký bod tání, takže při použití neregenerovaných písků místo ostřiva při přípravě modelových směsí může dojít k výraznému zhoršení kvality odlitků (vznik zapečenin apod.)

Vratný písek lze regenerovat různými způsoby. V zásadě je však možno hovořit o následujících třech postupech:

**a) Regenerace suchou cestou** - jedná se o metodu s intenzivním otěrem a dochází k zakulacování zrn a klesá jejich hranatost.

*Mechanická* - metoda, kdy se zbytky obálek kolem zrn ostřiva jsou rozbíjeny úderem a třením. Zbytky takto uvolněného pojiva i malé částice ostřiva jsou odsávány. Tento typ je univerzální a lze ho použít, jak pro směsi s pojivy organickými i anorganickým. Je to nejméně nákladný způsob regenerace.

*Pneumatická* - obálky se rozrušují v proudu stlačeného vzduchu, probíhá vzájemným třením i litinový talíř. Procento využití takto regenerovaných směsí je vyšší než u mechanické cesty.

**b) Regenerace mokrou cestou** - při tomto způsobu se zrna otírají ve vodní suspenzi, ta obsahuje pevné drobné částičky, zbytky zůstávají v roztoku. Tato metoda se nejvíce využívá u směsí s vodním sklem, ale je možné ji použít i u směsí s bentonitovým pojivem. Mokrá regenerace je náročná na spotřebu vody, na čištění a odstraňování sedimentů. Nevýhodou je následné sušení ostřiva. Využití regenerátu je až 70%.

**c) Regenerace tepelná** - provádí se spalováním pojiva při teplotách 700-900°C. Topí se převážně zemním plynem a zařízení musí mít dobré odsávání a současně nesmí docházet k uvolňování škodlivých zplodin do okolí. Po regeneraci následuje chlazení ostřiva. Tento způsob je velice nákladný a využívá se pouze pro směsi s organickými pojivy a drahými ostřivy, jako je korund či zirkon. Využitelnost bývá až 90%.

**d) Regenerace chemická** - převážně pouze teoretická možnost, pro praxi je neekonomická. Využívá organická rozpouštědla pro odstranění obálek z ostřiva, např. pro furanové směsi je možné využít etanol.

U všech způsobů je vždy nutné, aby vlastní regeneraci předcházela úprava vratného písku.

## 3.6 Výroba netrvalých forem a jader

### 3.6.1 Ruční formování

Přeměnu formovací směsi ze zkypleného stavu do stavu pevného nazýváme přechování.

Působením vnějších sil na formovací směs zmenšujeme prostory mezi zrny, celková hmotnost zůstává zachována a platí vztah

$$G_1 = V_1 \rho_1 = V_2 \rho_2 \quad (3.1)$$

kde  $G_1$ - tíha formovací směsi rámu [N],

$V_1$ - objem směsi před spěchováním [ $\text{m}^3$ ],

$V_2$ - objem směsi po spěchování [ $\text{m}^3$ ],

$\rho_1$ - hustota směsi před spěchováním [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],

$\rho_2$ - hustota směsi po spěchování [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Zhutnění se provádí údery nástroje, který má plochý tvar. Se zvětšující výškou pěchované vrstvy se zvětšuje rozdíl upěchování ve svislém směru, čím jsou vrstvy vyšší, tím hrozí větší nebezpečí, že ve spodních částech nebude formovací směs dostatečně upěchovaná, což má za následek deformace po odlití.

Podle druhu modelového zařízení, které se k formování použije, je možno ruční formování v podstatě rozdělit:

**a) Formování do pudy** - formy se touto cestou vyrábějí buď otevřené, nebo uzavřené. Pokud zůstane horní plocha otevřená, je povrch odlitku následně hrubý, využívá se tedy při zhotovení příliš nenáročných odlitků, různých desek a výztuh. Formování do uzavřených forem se používalo při výrobě těžkých odlitků, kdy by forma s rámem byla příliš těžká i za použití jeřábu. Technologii je ruční zapěchování modelu do připraveného lože a směs se v dělicí rovině urovná, po té se nasadí formovací rám, který se zajistí ocelovými kolíky. Po zasypání roviny modelu a formy dělicím popraškem se formuje vršek formy spolu s vtokovou soustavou, průduchy a výfuky. Následně se forma rozebere a vyjme se část modelu.

**b) Formování v rámech** - výroba do tří a více rámu ručním formováním s sebou přináší komplikace, jelikož prostřední rámy mají dělicí rovinu s obou stran. Formováním začínáme pěchováním spodního rámu, po otočení a nasazení horní části modelu se pěchuje horní rám. Po dokončení zaformování obou rámu se model vyjímá, následně zakládáme vnější a vnitřní jádra a forma se připravuje k lití. Toto formování s vnějšími jádry je vhodné při výrobě větší série odlitků, jelikož se cena snižuje o cenu jaderníků.

**c) Formování šablonováním** - rozlišujeme dva způsoby rotační a rovinné. U rotačního se šablona otáčí kolem svislé osy, zařízení se skládá ze šablonovacího vřetene, které je pevně ukotvené v litinové patce.

Přesnost závisí na správném uložení vřetena, proto u těžkých šablon je vyvažováno protizávažím.

Rovinné šablonování můžeme dále rozdělit na podélné, příčné a na kostru. Principem je uchycení vodící lišty na dělicí rovinu, které slouží k vedení šablon, takto se formují dutiny v podélném či příčném směru. Šablonování na kostru je rozděleno do dvou částí. V prvním kroku se vytvoří dutina pro spodní polovinu jádra a to se následně vypěchuje a vyztuží. Pak se vytvoří model pro formování horního rámu. Povrch se posype dělicím prostředkem, nasadí se rám a zapěchuje se vtoková soustava s výfuky. Po té se rám zvedne a z pískového modelu se odstraní část směsi, která odpovídá tloušťce odlitku, čímž získáme jádro. Následně se jádro vyjme a obdobným způsobem stáhne vrstva také ve spodní části.

Šablonování na kostru využíváme při výrobě velkých odlitků, např. skříní vodních nebo parních turbín.

### 3.6.2 Strojní výroba forem a jader

Účelem strojního formování je odstranit namáhavou ruční práci při pěchování forem a jader, zvýšit produktivitu práce a zlepšit přesnost odlitků. Uvnitř formy by měli být vlastnosti co nejméně proměnné, proto je nutné docílit upěchování co nejstejněmější, to je důležité zejména při sériové výrobě.

Z hlediska použitého formovacího stroje, tj. podle způsobu zhušťování formovací nebo jádrové směsi, lze strojní formování rozdělit:

**a) Střásání** - jedná se o nejrozšířenější způsob. Modelová deska je připevněna ke stolu. Na kolíky je upevněn rám s plnicím rámečkem a naplněn formovací směsí. Kanálem je přiváděn vzduch o tlaku 0,6 MPa, který stůl zvedá, po ukončení zdvihu se vzduch vypouští a stůl padá vlastní tíhou, tento cyklus se opakuje asi 120-150 krát za minutu. Formovací směs se pěchuje působením setrvačných sil.

**b) Lisování** - oproti střešení má tento způsob mnoho výhod, např. zkrácení doby výrobních cyklů, dobrou stabilitu forem, ekonomičtější provoz, zjednodušení výrobních zařízení, zlepšení hygieny práce a nejpodstatnější zlepšení vlastností odlitků (snížení rozměrových tolerancí, dokonalejší povrch, vhodnější krystalizace kapalného kovu). Lisy mohou potřebnou sílu vyvíjet mechanicky, pneumaticky, hydraulicky, popř. elektromagneticky. Použití lisovacích tlaků je v rozmezí 1-1,5 MPa.

**c) Metání** - používá se při výrobě rozměrově velkých forem. Principem je metací hlava s jednou či dvěma lopatkami, které nabírají směs z dopravního pásu a metají ji do formovacího rámu a to vše o frekvenci otáčení  $1450 \text{ min}^{-1}$ . Důležitou podmínkou je, aby veškerá směs padala svisle.

**d) Foukání** - metoda spočívá ve foukání směsi na modelovou desku tlakem vzduchu 0,1-0,6 MPa. Spodní část nádoby je spojena a tvarem modelové desky, směs prochází otvory, kde se ohřívá na teplotu  $220-240^\circ\text{C}$ . V zařízení se směs během 10 až 20 sekund nataví a přechází na modelovou desku, kde se vytvoří skořepina, v téhle fázi se deska oddálí od těsnicí hlavy. Přebytečná směs odpadne a skořepina se očistí ofouknutím. Pochod se opakuje.

**e) Vstřelování** - princip je ten, že jaderník naplníme formovací směsí. V okamžiku, kdy dojde k otevření ventilu, narazí stlačený vzduch na formovací směs a tlačí před sebou sloupec z hlavy do jaderníku. Celý proces je velice krátký, proto nedochází k tomu, aby stlačený vzduch vnikl mezi zrnka směsi, nevytváří se pískovzdušná směs, jako je tomu u metody foukáním.

## 4. METALURGIE A ODLÉVÁNÍ LITINY

### 4.1 Metalurgie grafitických litin

Pro výrobu kvalitních odlitků je také velmi důležitá metalurgická příprava taveniny litiny, včetně očkování, (popř. modifikace, jak je typické pro výrobu litiny s kuličkovým nebo červíkovým grafitem).

Tavenina pro odlévání litiny s lupínkovým grafitem se nejčastěji připravuje v kuplovně, standardním způsobem tavení, popř. v indukční středofrekvenční peci. Kvalitnější typy litiny se očkují. Očkování zlepšuje mechanické vlastnosti litin, podporuje větší homogenitu mechanických vlastností odlitku a snižuje náchylnost litiny k tvorbě zákalky. Očkovadla jsou typu FeSi 75, na bázi uhlíku a na bázi mědi. Teplota taveniny při očkování je cca 1420 °C, závisí na typu a množství očkovadla. Očkování se provádí v pánvi, v licí jamce, atd.

Metalurgie litiny a kuličkovým a červíkovitým grafitem se vyznačuje stejným principem výroby. Jak je obecně známo, k vytváření grafitu ve tvaru kuliček nebo červíků je při krystalizaci nutné přidávat do taveniny modifikátor. Současně je potřeba dodržovat takové technologické podmínky, aby vyloučení příslušného tvaru grafitu proběhlo v celém objemu odlitku. Z praktických slévárenských zkušeností je nutné provést modifikaci a očkování. Taveninu pro litinu litiny s kuličkovým grafitem (LKG) a litiny s červíkovým grafitem (LČG) za normálních okolností nelze připravovat v kuplovně s kyselou vyzdívkou. To proto, že k modifikaci se používá v našich podmínkách hořčík nebo jeho předslitiny. Na hořčík se váže síra, čímž se výrazně snižuje jeho modifikační účinek. Proto pro výrobu LKG a LČG se používají nejčastěji elektrické indukční středofrekvenční pece. Jen ve výjimečném případě lze taveniny těchto litin připravit v horkovětrné kuplovně s kyselou vyzdívkou. Taveninu je potom nutno odsířit v předpeci kuplovny nebo v udržovací peci např. přidáním  $\text{CaC}_2$ . Pak je pánví odsířená tavenina přelita do indukční pece, kde je provedeno ohřátí na teplotu modifikace. Modifikace se provádí v modifikační pánvi předslitinou FeSiMg.

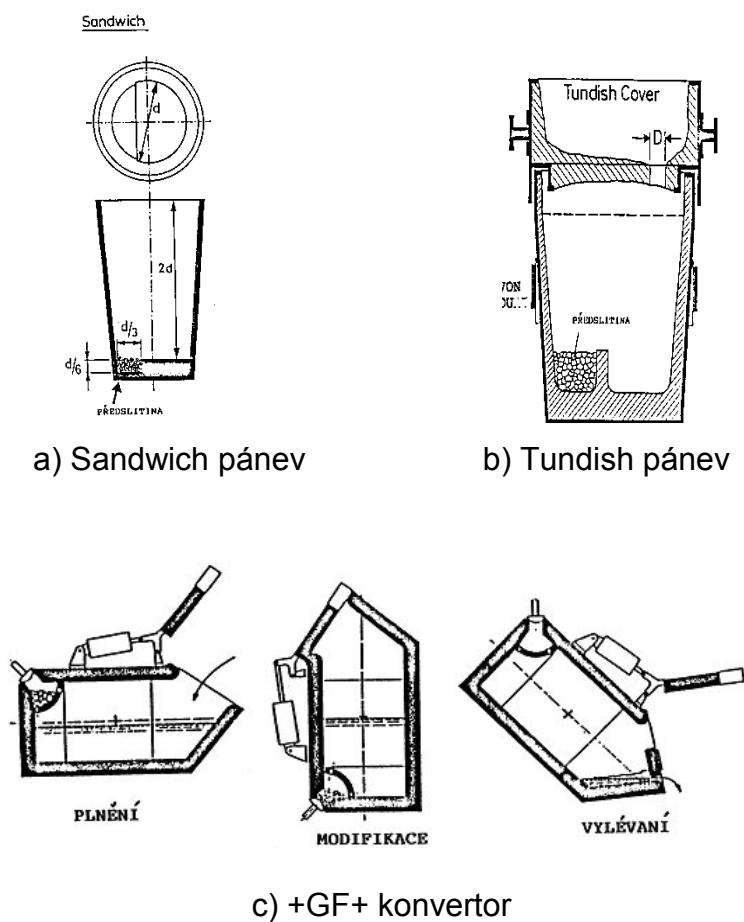


Nemodifikovaná tavenina se odlévá z licí pánve do forem. K vlastní modifikaci je třeba 0,03 až 0,06 % Mg. Chceme-li získat v litině feritickou matici je potřeba ve v sázce 0,15 % Mn. Pro matici perlitickou je třeba 0,6 až 0,7 % Mn.

Fosfor vytváří v litinách termální fosfidické eutektikum – tzv. steadit, proto by mělo být fosforu u těchto litin cca 0,02 až 0,08 %. Vedle modifikace je nutno LČG a LKG také očkovat. V konečné fázi se tavenina ještě očkuje křemíkem resp. ferosilíciem, kdy konečný efekt je do jisté míry stejný jako při výrobě LLG, ale očkování se provádí především za účelem potlačení karbidotvorného účinku modifikátoru.

Dále je třeba brát úvahu i vliv *síry* při výrobě těchto typů litin. Vysoký obsah síry především u LKG je nežádoucí, neboť dobře váže hořčík, který tím pozbývá funkci aktivního modifikátoru. Též je nutno brát v úvahu velkou *slučivost* (afinitu) hořčíku s kyslíkem, teplota varu hořčíku je cca 1100 °C. To znamená, že při modifikaci taveniny litin hořčíkem dochází k jeho zplynění a vyvolává bouřlivý účinek – tavenina vystřikuje z pánve. Z tohoto důvodu byly vyvinuty různé způsoby výroby LKG, popř. výroby LČG, jako modifikace taveniny ve speciální pánvi (metoda Sandwich), v autoklávu, v GF – konvertoru, atd. Obecně lze metody modifikace litiny s kuličkovým grafitem rozdělit do dvou velkých skupin: polévací a ponořovací. Např. na naší katedře je uplatňována metoda Sandwich, tavenina litiny s vhodným chemickým složením (nejčastěji tavená ve středofrekvenční elektrické peci) se vlévá do speciální licí pánve předehřáté na teplotu cca 600 °C. Výška pánve je 2 až 3 násobek horního průměru. Ve dně pánve je komůrka a výstupek. Do komůrky se vkládá odvážený modifikátor a očkovač a to se zakrývá ocelovým plechem. Čímž se zpomaluje reakce mezi hořčíkem a taveninou, která se do pánve vlévá na výstupek dna pánve.

Na obr. 4-1 je schéma nejběžněji používaných zařízení pro modifikaci litin.

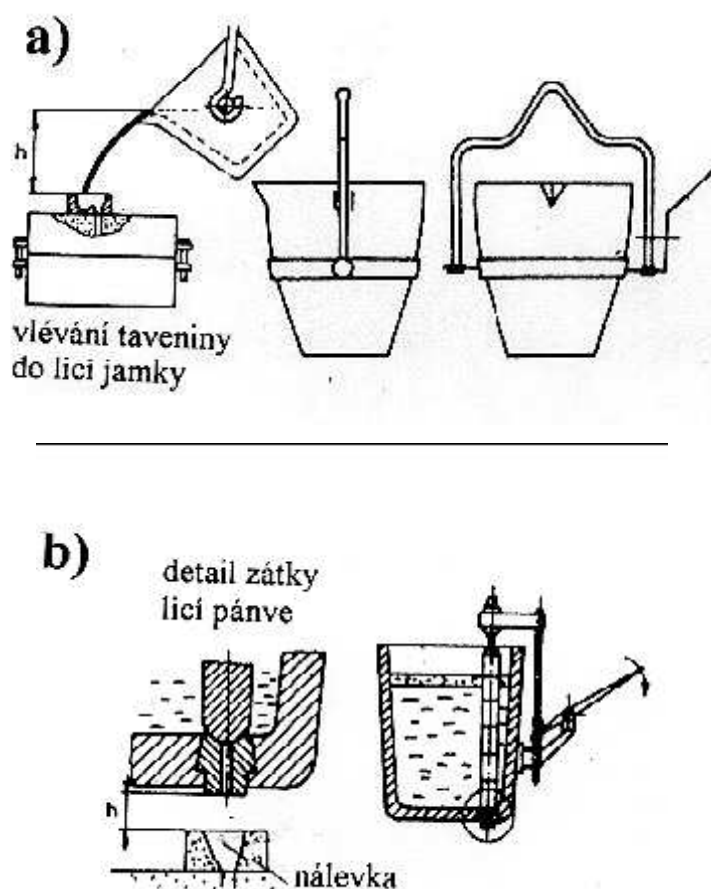


Obr. 4-1 Schéma nejběžněji používaných zařízení pro modifikaci LKG a LČG[11]

## 4.2 Odlévání grafitických litin

Odlévání litin se většinou případů provádí nakloněním lící pánve, tuto metodu nazýváme lití přes hubičku, kromě litiny s kuličkovým grafitem, popř. s červíkovitým grafitem, která se může odlévat způsobem, kdy má pánev spodní výpust. Schéma obou typů pánví je na obr. 4-2.

Nejjednodušší konstrukci lící pánve umožňuje, již zmíněné lití přes hubičku. Klady tohoto způsobu jsou nižší náklady na údržbu. Nevýhodou při takto zvoleném odlévání, je možný únik strusky do proudu odlévané litiny, proto je nutné před odléváním dobře ošetřit hladinu kovu pečlivým stažením strusky z povrchu roztaveného kovu.



Obr. 4-2 Lící pánve [11]

Struska vzniká odtavováním vyzdívky pánve, je třeba věnovat velkou pozornost konstrukci lici jamky, ty mohou být přepadové, příhradové, zátkové a nálevkové s cedítkem. Následně je pak důležitým faktorem, aby slévač udržel lici jamku dostatečně zaplněnou, kvůli vyplavání strusky na povrch roztaveného kovu. V tomto případě významně napomáhá přetlaková vtoková soustava, kdy je další únik zachycen ve vtokové soustavě. Podmínky k odstranění strusky se zhoršují s vyšší tekutostí kovu a následným obtížnějším odstraňováním v průběhu odlévání, proto je nutné zachytit strusku již před započítím odlévání.

Podle konstrukce a způsobu použití se pánve dělí na několik základních typů:

**a) Hrnkové**, viz obr 4-2.

**b) Bubnové** - jsou určeny pro manipulaci s taveninami a pro odlévání běžně používaných kovů. Oba typy jsou určeny pro převážení jeřábem, ale je možno je dodat v úpravě pro manipulaci vysokozdvihným vozíkem. Vylévání taveniny se děje naklápěním pánve ručně nebo pomocí samosvorné šnekové převodovky.

**c) Zátkové** - obdobné konstrukce jako hrncové, ale vylévání kovu se děje otvorem ve dně, zavíraným ručně ovládanou zátkou.

**d) Čajníkové** - součástí vyzdívky čajníkových pánví je speciální přepážka před vylévací hubičkou, která umožňuje vylévání taveniny od dna, struska zůstává na povrchu a vylévá se s posledním zbytkem taveniny jako odpad.

**e) Očkovací** - svým tvarem jsou uzpůsobené pro modifikaci litiny hořčíkem nebo jinými prvky.

**f) Ruční** - pro přenášení malého objemu taveniny jsou určeny ruční pánve buď pro nesení jedním nebo dvěma pracovníky.

Pro úplnost se využívají i automatické lící systémy, které jsou většinou instalovány na automatických formovacích linkách. Jejich výhodami jsou vysoká přesnost lití až do množství 500 odlitků za hodinu, garantovaná počítačem řízená opakovatelnost, maximální počet lití, menší plýtvání přelitím nebo nedolitím, přesná lící teplota, optimální kvalita odlévání, stálé odlévání během doplňování tekutého kovu, hydraulické naklápění pro jednoduchou údržbu, přizpůsobení k jakémukoli indexování nebo pohyblivé formovací lince.

## 5. ODLITKY Z LITINY POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

V automobilovém průmyslu se používá celá řada odlitků z grafitických litin. Pokud se jedná o odlitky z litiny s lupínkovým grafitem, vedle útlumových a mazacích vlastností litin se předpokládá, že také splňují potřebné mechanické vlastnosti. Jsou to např. pístní kroužky, bloky naftových motorů, brzdové bubny a kotouče, atd. Litina s kuličkovým a červíkovitým grafitem vykazuje vyšší mechanické hodnoty. V současné době litina s červíkovitým grafitem se používá pro výrobu bloků motorů o obsahu cca 3000 cm<sup>3</sup>.

**Pístní kroužky** – normální pístní kroužky jsou z litiny s lupínkovým grafitem nebo tepelně zušlechtnuté litiny, velmi namáhané pístní kroužky bývají i z litiny s kuličkovým grafitem. Rozlišujeme těsnicí kroužky a stírací pístní kroužky. Z hlediska vlastností musí být pístní kroužky pružné a musí za všech provozních stavů i při stlačení udržovat optimální tvar a přítlak na stěnu válce. Přítlak na stěnu válce se během provozu významně zvyšuje ještě silou tlaku plynu za kroužky. Na obr. 5-1 jsou uvedeny pístní kroužky.



Obr. 5 -1 Pístní kroužky, vlevo hrubý odlitek - vlevo, čistý odlitek - vpravo

[12]

**Klikové hřídele** – jak je obecně známo klikové hřídele automobilů jsou velmi namáhané strojní součásti a je zvykem je vyrábět kování (zápuskové kování ocelí např. ČSN 14 150). Např. automobilka, ŠKODA – AUTO, a.s. Mladá Boleslav, používá pro motory Fabia 1,2 HTP (tříválec) ojnice z litiny s kuličkovým grafitem, viz obr. 5-2. Jak je obecně známo, tvar klikové hřídele je určen počtem válců a uložením hřídele v ložiskách, popř. velikostí zdvihu pístu.



Obr. 5-2 Kliková hřídel z LKG [12]

**Setrvačníky** – jsou to akumulátory mechanické energie. Na motoru jsou umístěny na straně odběru výkonu z klikové hřídel, na kterém je většinou umístěna spojka. Setrvačníky se vyrábí z oceli nebo ze speciálních litin, to jsou litiny s vysokými mechanickými hodnotami, jako např. litina s kuličkovým grafitem. Spolu s klikovou hřídelí se většinou dynamicky vyvažují, aby při vysokých otáčkách nedocházelo k rozkmitání, motor by pak měl neklidný chod a kliková hřídel by byla spolu s ložisky nadměrně zatížena. Na obr. 5-3 je uveden setrvačník automobilu po obrobení,



Obr. 5-3 Setrvačník automobilu [12]

**Hlavy válců spalovacích motorů** – jejich společným úkolem je spolu s pístem uzavírat spalovací prostor, odolávat vysokým spalovacím tlakům, rychle sdílet a předávat teplo chladicímu mediu. Hlavy válců spalovacích motorů jsou jedny z nejnáročnějších i nejsložitějších odlitků. Jejich výrobní náročnost spočívá v tom, že jsou nejen tepelně cyklicky namáhané, ale současně obsahují kanály, ve kterých proudí chladicí kapalina, která vyžaduje dostatečnou kompaktnost a těsnost. Pro výkonné spalovací motory, jako jsou motory pro nákladní automobily, popř. lodní motory, se hlavy válců vyrábí ze speciální, žáruvzdorné litiny s lupínkovým grafitem.

Tyto odlitky překonávají vysoké spalovací teploty i tlaky, vysoká teplotní napětí, která jsou způsobena rychlými teplotními změnami. Odlévání je do pískových bentonitových forem s pryskyřičnými jádry. V některých případech se začaly hlavy motorů vyrábět z litiny s červíkovým grafitem, tato litina vykazuje dobré užitné vlastnosti, avšak malé použití tohoto typu litiny souvisí s poměrně náročnou metalurgií a přípravou taveniny (složení vsázky, výběr vhodného modifikátoru a očkovačů, typ tavícího agregátu). Na obr. 5-4 je uvedena hlava motoru.



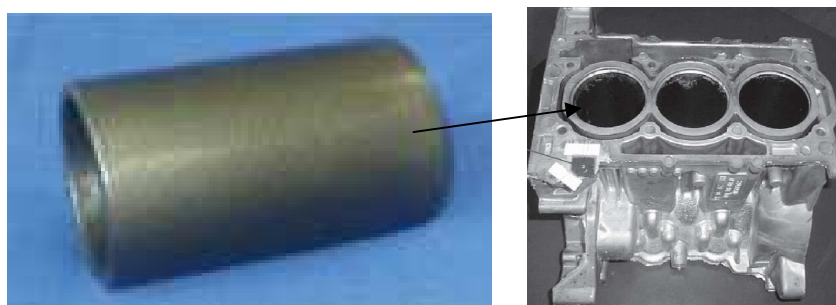
Obr. 5-4 Hlava motoru [14]

**Vložky bloků spalovacích motorů** - jsou též tepelně namáhané součásti motorů, jejich užitné vlastnosti jsou založeny na vysoké pevnosti a tvarové stálosti, dobrém vedení tepla, malé tepelné roztažnosti, a vysoké odolnosti proti opotřebení a dobré kluzné vlastnosti na styčné ploše s pístem, resp. pístním kroužkem.

Vložky bloků se vyrábí ze speciální litiny s lupínkovým grafitem, zde se vyžaduje poměrně jemnozrná struktura litiny. Vložky bloků spalovacích motorů se dělí do dvou skupin:

*Mokrý vložky* - jsou přímo omývané chladicí kapalinou, tím je dosahováno účinného chlazení. Z hlediska konstrukce mají na horním konci nákrůžek, z důvodu utěsnění, jinak by se do klikové skříně dostala chladicí kapalina.

*Suché vložky* - v tomto případě nepřicházejí do styku s chladicí kapalinou, proto zde není tak významný přechod tepla. Suché vložky válců jsou tenkostěnné a vkládají se do bloku buď s posuvným nebo pevným uložením. Např. do automobilů LIAZ, dnes TEDOM, se používají vložky mokré, vyrobené ze speciální litiny s lupínkovým grafitem. Na obr. 5-5 je uvedena vložka bloku motorů z litiny s lupínkovým grafitem (EN -GJL-250) pro auto Fabia HTP 1.2.



Obr. 5-5 Litinová vložka z LLG [12]

***Bloky spalovacích motorů*** - jsou to tělesa skříňového typu, která slouží k uchycení a uložení jednotlivých pohyblivých částí motoru. Bloky, které jsou chlazeny kapalinou, obsahují chladicí prostory a kanály, kterými je kapalina přiváděna do dolní části bloku čerpadlem, ochlazuje vložky a dále proudí do hlavy motoru průtokovými kanály. Bloky motorů bývají nejčastěji odlévány z litiny s lupínkovým grafitem, to je typické pro velké automobilové nebo lodní motory. Tento materiál vykazuje dobrou tuhost a pevnost, dobré kluzné



vlastností a malé opotřebení, nízkou tepelnou roztažnost a dobré útlumové vlastnosti.

Bloky motorů, např. produkce ŠKODA – Auto jsou vyráběny ze slitiny hliníku AlSi9Cu3, která jsou tepelně zpracovány – precipitačně vytvrzeny z důvodu dosažení vyšších mechanických vlastností.

V současné době se stále více pro výrobu bloků spalovacích motorů používá litina s červíkovitým grafitem (LČG), která se dříve v některých případech používala především pro výrobu odlitků hlav a výfukových potrubí spalovacích motorů.

Tato litina vykazuje odpovídající mechanické i tepelné vlastnosti a současně umožňuje výrobu relativně tenkostěnných odlitků bloků spalovacích motorů s malou hmotností, které dobře snáší vysoké výkony hnacího agregátu. Bloky motorů z LČG vyrábí např. Audi 3,0 TDI, 171 kW; motor AJD – V6 má hmotnost 202 kg, což se řadí na špičku světové produkce ve srovnatelné kategorii objemu, dále Audi 2.7 l; 3,0 l; 4,0 l diesel; DAV 12,6 l; BMW série 7 V8; Jaguár 2,7; Ford/PSA V6 – diesel; Toyota; General Motors 2,5 l V6; Suzuki, atd., jak uvádí [9]. Na obr. 5-6 je uveden blok motoru.



Obr. 5-6 Blok motoru [12]

**Sběrná část výfukového potrubí** - jsou to odlitky, které mají tlumit hluk (vzniká rázy při nepravidelném proudění výfukových plynů ze spalovacího prostoru a silnými impulzy, tak aby nebyla překročena určitá hladina hluku), dobře odvádět výfukové plyny z motoru. Protože sběrná potrubí motorů jsou

velmi tepelně cyklicky namáhána, pro jejich výrobu se používala speciální litina s lupínkovým grafitem. Dnes se pro výrobu velmi namáhaných typů sběrných částí výfukových potrubí automobilů používá litina s červíkovitým grafitem. Tyto odlitky musí odolávat vysokým teplotám a velkým změnám teplot především v přední části potrubí, vnější korozi, způsobenou povětrnostními vlivy, vnitřní korozi zapříčiněnou kondenzací plyných produktů při spalování, atd. Na obr. 5-7 je uvedena sběrná část výfukového potrubí (výfukový svod) z provenience automobilů typu ŠKODA Felicia.



Obr. 5-7 Odlitek sběrného potrubí automobilu z litiny s červíkovitým grafitem [12]

**Brzdové bubny** - jsou součástí automobilů, které jsou značně opotřebovávány, proto musí vykazovat schopnost velké odolnosti proti opotřebení, tvarovou stálost a dobrou tepelnou vodivost. Současně musí zabezpečovat centrickou rotaci. Tyto bubny se vyrábí z litiny s lupínkovým grafitem a do vsázky se přidává 0,5 % Cu, která chrání buben proti nadměrné korozi. Na obr. 5-8 je uveden hrubý odlitek brzdového bubnu.



Obr. 5-8 Brzdový buben LLG (EN-GJL-250) [12]

**Brzdový kotouč** - je velmi těž a velmi namáhaná součást automobilu, dnes se vyrábí tzv. odvětrávané brzdové kotouče, které mají uvnitř přepážky (radiálně uspořádané vzduchové kanály), viz obr. 5-9, které slouží k intenzivnímu chlazení kotouče při brzdění. V čistém odlitku kotouče se vyrábějí otvory, popř. oválné drážky, tím se dosahuje rychlejšího odvodu vody z kotouče při brzdění a současně přispívají ke snížení hmotnosti kotouče.



Obr. 5-9 Hrubý odlitek odvětrávaného kotouče - vlevo, čistý odlitek odvětrávaného brzdového kotouče - vpravo [12]

**Vačkové hřídele** - jsou též důležité části motoru, které jsou též dosti tepelně a mechanicky namáhané. Vyrábí odléváním, gravitačním litím, do kovových forem speciální litiny s lupínkovým nebo s kuličkovým grafitem.



Obr. 5-10 Vačková hřídel [10]

## 6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vypracování uceleného přehledu technologie výroby odlitků z grafitických litin a charakteristika litin, které jsou vhodné pro automobilový průmysl. Tyto odlitky musí též splňovat užité vlastnosti, podle jejich účelu jsou vedle mechanických vlastností důležité i vlastnosti další, např. fyzikální, chemické, atd.

Pokud využití grafitických litin konkretizujeme na Českou republiku, je zde daleko menší využití, než ve vyspělých zemích Evropy. Konstrukteři si plně neuvědomují možnosti využití litin a smýšlí o nich, jako o zastaralém materiálu. Litiny v dnešní době tvoří rozsáhlou skupinu výrobků s velkým rozsahem použití a možnosti dosažitelnosti vlastností, které v řadě nároků předčí i ocel.

Jak je z výše uvedeného patrné, grafitické litiny mají ještě značné uplatnění v automobilovém průmyslu, především při výrobě dílů pro nákladní automobily. Např. u litiny s lupínkovým grafitem se využívá značných kluzných a tlumících vlastností (bubny, kotouče vložky spalovacích motorů, diferenciály, bloky). Tam, kde jsou potřeba vyšší hodnoty mechanických vlastností a tepelná vodivost a útlumové vlastnosti materiálu, pak se pro výrobu odlitků používá litina s červíkovitým grafitem (hlavy a bloky některých motorů, kde se vyžaduje tenkostěnný blok o minimální tloušťce cca 4 mm). V případech značného mechanického namáhání, je možno do jisté míry použít odlitky z litiny s kuličkovým grafitem, jako např. klikové hřídele automobilů ŠKODA Fabia HTP 1.2. Jak je obecně známo, vysoce namáhané konstrukční díly se vyrábí z vhodné oceli, které jsou např. kovány v zápustkách.

## 7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NOVÁ, I.: Teorie slévání I. [Skripta], KSP – FS, TU v Liberci, 2006.
- [2] IVA NOVÁ: Teorie slévání II. [ Skripta], KSP – FS, TU v Liberci, 2007.
- [3] NOVÁ, I.: Materiály a strojírenská technologie. [Skripta], KSP – FS, TU v Liberci, 1990.
- [4] PLUHAŘ, J. a kol.: Nauka o materiálech. 1. vyd. SNTL Praha, 1989.
- [5] ALAXIN, J.: Nauka o materiálu. [Skripta ] VŠST v Liberci, 1989.
- [6] PLACHÝ, J., NĚMEC, M., BEDNÁŘ, B.: Teorie slévání. [Skripta] FS - ČVUT, Praha, 1990.
- [7] PŘIBYL, J.: Výroba slévárenských forem. 1. vyd. SNTL Praha, 1953.
- [8] SLOVÁK, S., RUSÍN, K.: Teorie slévání. 1. vyd. SNTL Praha, 1990.
- [9] KOSEK, P.: Uplatnění litiny s červíkovým grafitem pro výrobu tenkostěnných odlitků pro automobilový průmysl, Doktorská práce, KSP – FS, TU v Liberci 2007.
- [10] Zdroje z internetu [www.vscht.cz](http://www.vscht.cz), [www.scielo.br](http://www.scielo.br), [ime.fme.vutbr.cz](http://ime.fme.vutbr.cz), [www.plasmatec.co.il](http://www.plasmatec.co.il), [www.dlczech.cz](http://www.dlczech.cz), [www.georgesbasement.com](http://www.georgesbasement.com), [www.vackykrebich.cz](http://www.vackykrebich.cz).
- [11] ČUBAN, J.: Vliv parametrů plnění forem na kvalitu odlitků z grafických litin, [Diplomová práce], TU v Liberci, 2008.
- [12] Technické materiály firmy Škoda-Auto Mladá Boleslav.
- [13] GSCHEIDLE, R. a kol.: Příručka pro automechanika. Sobotáles, 2002.
- [14] [http: www.katalog-automobilu.cz](http://www.katalog-automobilu.cz).



## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci, 27.5.2011

.....  
Andrea Elmanová

---

**Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec 27th May 2011

.....  
Andrea Elmanová

---